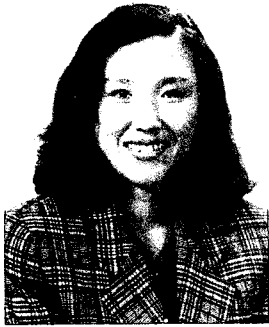


해양오염과 생태계 위기



안인영

/ 한국해양연구소 선임연구원

인간을 포함한 지구상의 모든 생물은 환경과 불가분의 관계를 맺고 하나의 계(系)를 형성하고 있는데 이를 생태계라고 한다. 즉 생태계는 생물권(Biosphere)의 생물적 요소와 무

생물적인 다양한 요소를 포함하는 물리적인 영역일 뿐 아니라, 생물과 생물, 생물과 무생물간의 긴밀한 상호작용에 의해 항상성을 유지하는 기능적 영역도 포함한다. 지난 반세기동안의 급속한 과학의 발전, 그리고 인간의 보다 안락하고 편리한 생활환경에 대한 욕구로 자연환경은 심하게 변조되거나 훼손되었으며, 이러한 환경의 변화는 그 속에서 서식하고 있는 생물들에 영향을 줌으로서 결과적으로 생태계의 균형이 깨지고 전지구적 환경의 위기라는 심각한 문제에 도달하게 되었다. 지구표면의 약 70%를 차지하고 있는 해양도 몸살을 앓고 있는지가 이미 오래다. 우리나라에서 해양오염문제가 대두된지는 벌써 오래전

의 일이나, 전국민이 환경문제를 심각하게 받아들이고 이에 대한 대책 및 환경보전 문제를 고려하게 된 것은 비교적 근래의 일이다. 국제적으로도 1992년 6월 브라질의 리우 데자네이루에서 열린 유엔환경개발회의(UNCED)에서 생물다양성협약, 기후변화협약등이 채택되어 새로운 해양환경 질서수립을 위해서 각국 정부의 노력을 촉구하는 움직임이 일고 있다. 국내적으로 해양오염을 관리하여 생태계를 보전하고, 아울러 유용 생물자원의 지속적 개발(Sustainable development)을 뒷받침할 정책입안에 필요한 제반 해양오염에 관한 체계적이고 종합적 연구가 절실한 때가 아닐 수 없다.

1. 우리나라 해양오염의 실태

우리나라 해양오염의 기원으로는 크게 세가지로 나눌 수 있겠다. 첫째, 육상으로부터 오염물질이 유입되는 경우로서, 현재 우리나라 해양오염물질의 약 80%를 차지하고 있다. 우리나라 주요하천의 오염이 매우 심각한 상태에 이른 것은 이미 널리 알려진 사실이다. 1960년대 이후 급격한 산업화와 도시화가 진행되면서 생활하수, 각종 공장폐수들로 우리나라 4대강인 한강, 영산강, 금강, 낙동강은 2급수 이하로 떨어졌으며, 이러한 하천의 오염은 특히 강하구 해역의 오염을 심화시키고 있는 것으로 나타났다. 근래에 우리나라 남 서해안에서 거의 전계절에 걸쳐 다발하고 있는 적조(Red tide)는 육상으로부터 유기물질과 질산염, 인산염과 같은 무기영양염류가 포함된 폐수가 다량 유입되어, 식물플랑크톤이 이상폭발증식



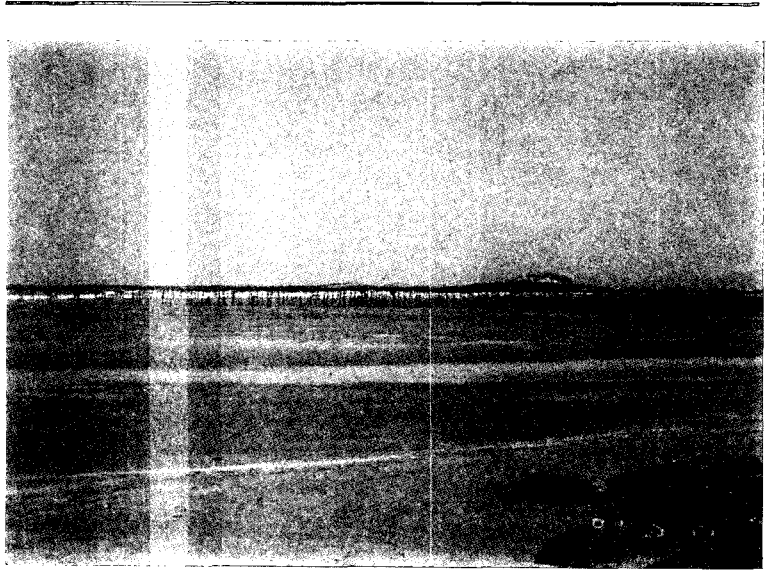
하기 때문이다. 영양염이 고갈되면 식물플랑크톤은 더 이상 자라지 못하고 사멸하게 되는데, 이때 사체가 분해되면서 많은 산소를 소모하게 되어, 해수중의 산소결핍으로 어패류, 갑각류의 대량 폐사를 초래하기도 한다. 또한 대규모의 임해공업단지로부터 유출되는 산업폐기물에 의한 인근해 오염도 매우 심각하다. 특히 황해는 兩해안에 한국과 중국의 공업공단이 밀집해 있는 산업화 지역으로서, 공단들이 폐수처리 시설을 제대로 갖추지 못하고, 인근해에 그대로 무단 방류하는 경우도 적지 않은 것으로 알려져 있다. 최근의 한 결과에 의하면, 서해안의 한 대규모 공단앞 갯벌에 서식하였던, 조개, 게, 갯지렁이등이 공단가동 후 불과 수 년만에 거의 초토화되가고 있으며, 오염에 강한 종들만이 생존해 있고, 남아 있는 생물들과 갯벌이 중금속등에 심하게 오염되어 있는 것으로 나타났다. 두번째

로는 해양기원의 오염으로서, 선박수송, 유류유출, 과일양식 등으로 인한 오염이 있다. 근래에 원유의 해상운송량 증대에 따라 유류유출 사고에 의한 해양오염이 증가하고 있다. 세번째로는 대기를 통해 해양으로 유입되는 분진, 연소물질등에 의한 오염이다. 최근 중국의 황해연안에서 대기를 통해 날라오는 오염물질, 황사 등이 우리나라까지 그 영향을 미친다는 보고가 있었으나, 대기를 통한 오염물질이 해양생태계에 어떠한 영향을 주는지에 대하여 거의 알려져 있지 않다.

한편, 생활하수, 공장폐수등과 같은 화학적 오염물질에 의한 오염은 아니지만, 생태계를 크게 훼손시키는 직접적인 원인이 되고 있는 것

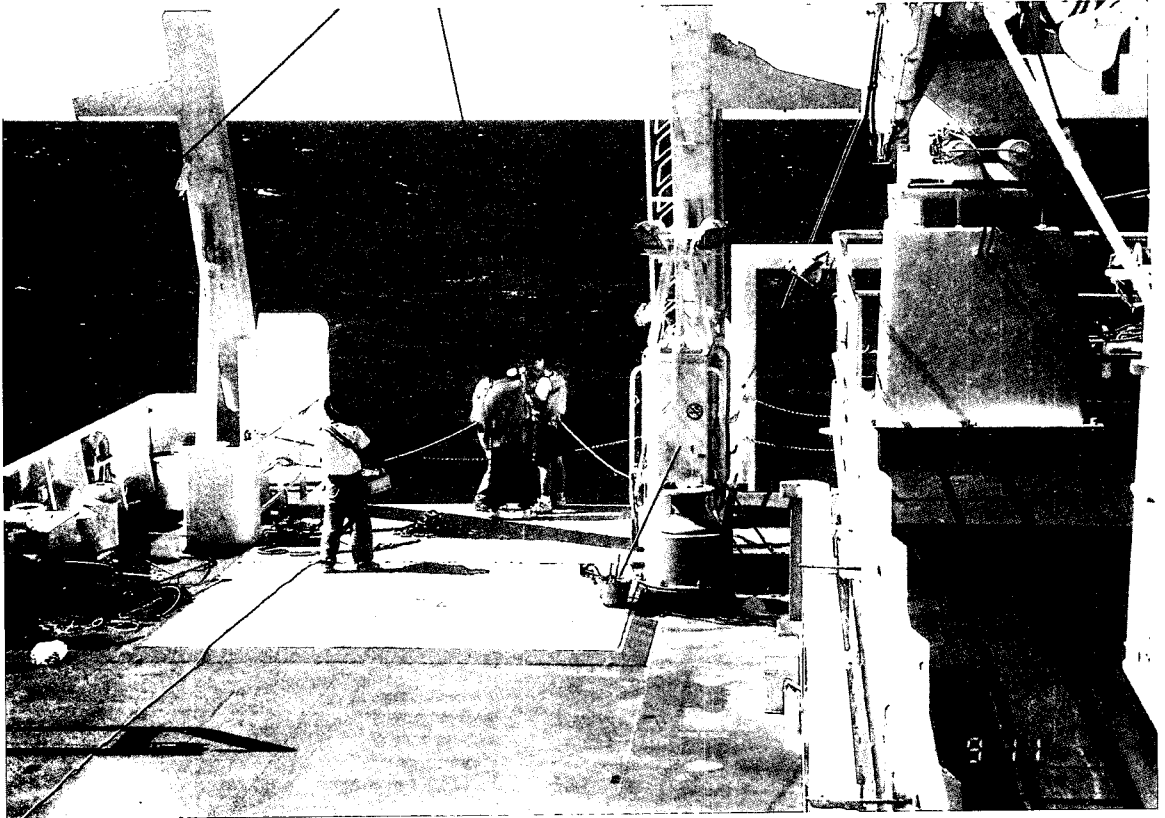
현재 우리나라 특히 서해안의 해안선은 이러한 간척사업으로 자연적인 모습을 갖고 있는 해안선이 점점 줄어들고 있다.

해안선의 인위적인 변형은 해수운동과 해안침식 및 퇴적양상등에 변화를 일으켜, 서식처가 변화됨으로서 해양동물들이 생존의 위협을 받고 있다.



이 방파제 건설, 갯벌 매립등의 대규모 간척사업이다. 현재 우리나라 특히 서해안의 해안선은 이러한 간척사업으로 자연적인 모습을 갖고 있는 해안선이 점점 줄어들고 있다. 해안선의 인위적인 변형은 해수운동과 해안침식 및 퇴적양상등에 변화를 일으켜, 서식처가 변화됨으로서 해양생물들이 생존의 위협을 받고 있다. 예를 들면, 인공제방이 만들어진 후, 해수의 운동이 약화되어, 고운 펄이 씻겨 나가지 못하고 점점 쌓여, 원래는 모래밭이었던 곳이 펄밭으로 변해가면서, 조개양식장등이 크게 피해를 보고 있다. 또한, 무분별한 매립에 의해 바다의 허파(肺)라고 불리는 갯벌지역이

매립에 의해 심각하게 손상되고 있다. 갯벌은 유기물질의 생산이 매우 활발히 일어나고, 따라서 이를 먹이로 하는 주요 수산어종이 매우 풍부한 곳이다. 또한 갯벌에서는 다량의 유기물질이 깊은 바다로 흘러 들어가 주요 어장을 형성하기도 하는데 그 중요성은 이루 말할수가 없다. 삼면이 바다로 둘러 쌓인 우리나라는 남해안과 서해안에 잘 발달된 갯벌을 갖고 있어, 수 세기 아니 수 십세기 이 곳에 살고 있는 사람들의 생활의 터전이었다. 특히 서해안 즉 황해의 갯벌은 그 광활함이 세계적으로도 유명하여, 국제적으로 저명한 해양학자들의 연구대상지역으로 관심을 끌고 있는 곳이다.



다. 육상자원이 빈약한 우리나라에 있어, 갯벌은 정말 천혜의 자원이 아닐 수 없다. 필자의 연구소를 방문했던 한 미국인 과학자의 탄식이 잊혀지지 않는다. 필자의 연구소앞 갯벌이 대규모 간척사업에 의해 매립되었다는 것을 전해 듣고 그는 그 갯벌이 한국에서 보았던 가장 아름다웠던 경관이었는데... 하며 기가 막혀하는 표정이었다. 갯벌이나 염습지 (Salt marsh)를 생태보호 구역으로 지정하여 무분별한 개발을 절대적으로 제한하고 있는 선진국에서 온 그로서는 도저히 이해할 수 없는 일로 비쳤을 것이다. 인공 제방의 나라로 명성을 드높인 네덜란드에서도 근래에 들어 수 십년간 버텨오던 제방의 독을 허물고 있다고 하지 않는가? 간척으로 새로운 땅에서 얻어낸 경제적 '부'는 그후

수십년의 세월이 지나면서 나타난 엄청난 유지비와 생태계 파괴라는 부작용을 갚을 수 있을만큼 절대적으로 생산성있는 것이 아니었음을 오랜 세월이 흐른 후 깨닫게 된 것이다.

2 해양오염으로 인한 생태계 파괴의 문제점

우리나라에서 오염의 문제가 심각한 연근해 지역은 경제적 가치가 높은 지역으로서, 해양오염을 생태계 위기라는 문제점보다는 수산자원의 고갈이라는 경제적 손실과 유해화학물질에 오염된 수산물을 섭취함으로써 건강에 위협을 받는 직접적인 피해 등에 주로 관심을 기울여 왔다. 그러나, 인류의 생존은 우리의 식탁에 오른 수산물 뿐아니

라, 생태계의 구조를 이루고 있는 먹이망 (Food web)에 의해 더 나아가서는 건강한 지구환경에 의해 직간접적으로 유지되고 있음을 알아야 한다. 지구상에 존재하는 모든 생물종들은 지구생태계내 먹이망에서 생산자, 소비자, 또는 분해자로서 물질흐름의 항상성을 유지하는데 나름대로 기여하고 있다. 최근의 연구들은 우리가 알고 있던 먹이망들이 보다 복잡한 구조를 하고 보다 더 많은 생물종들이 관련되어 있음을 발표하고 있다. 하나의 생태계가 안정되게 유지되려면 모든 구성원들이 각기 고유이 기능을 수행해 나가야 하며, 그렇지 못할때는 생태계 균형이 깨지게 된다. 따라서 먹이망을 구성하는 생물종의 감소는 생태계의 위기를 알리는 가장 확실한 지표이다. 1992년 6월 리우

대자네이로에서 열린 유엔환경개발회의 후속조치로 채택된 종다양성협약은 바로 상기한 이유들 때문이다. 해수의 오염은 생물종의 다양성을 떨어뜨리고, 오염에 내성이 강한 특정 생물종의 번식을 초래한다. 즉 생물종의 단순화를 가져오는 것이다.

해양오염을 단순히 수질오염의 한 종류로 지역적인 현상으로 생각할 수도 있다. 그러나, 해양오염으로 인한 생태계 파괴는 전지구적 환경 그리고 기후변화와 연결될 수 있다. 그 이유는 다음과 같은 해양의 특수성 때문이다. 해양은 지구표면의 70%, 수권의 97%를 차지하고 있어 물질순환에 있어 중추적인 역할을 하고 있다. 지구상의 모든 물질은 다양한 과정을 통하여 수권 (Hydrosphere), 암석권 (Lithosphere), 대기권 (Atmosphere) 그리고 생태계를 구성하는 생물권 (Biosphere)을 끊임없이 순환하며, 어느 한 곳에 영원히 머무르지 않는다. 예를 들면, 유기물질의 기본원소인 탄소의 순환을 보자. 대기중에서 탄소는 무기물인 이산화탄소(CO₂)의 형태로 존재하면서, 생태계의 기초생산자인 식물들에 의해 광합성되어 유기물질로 전환한다. 이렇게 생산된 유기물질은 먹이망이라는 생태계내 복잡한 구조를 통해 다양한 생물들에게 이용되면서 최종적으로 박테리아에 의해 무기물로 다시 전환된다. 전환된 무기탄소는 육상 또는 해양퇴적물로 침전되거나 대기로 다시 탈출한다. 육상퇴적물속에 있는 탄소원소는 풍화작용을 받아 부유물의 형태로 강을 통해 바다로 유입되고, 해양퇴적물도 오랜 세월 후 육상에 노출되고 풍화작용을 받

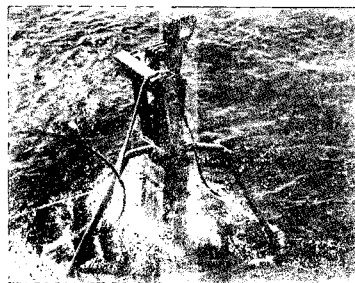
해양은 막대한 수용능력을 갖추고 있는 반응조로서, 외부에서 어느정도 오염물질이 유입되더라도 여러가지 물리 화학적 과정으로 이를 정화시킬 수 있는 자정능력을 갖고 있으나, 근래에 연근해로 유입되는 이들 오염물질의 양은 해양의 자정능력을 훨씬 넘어선고 있다.

게된다. 이와 같이 지구상의 물질흐름은 전지구적인 규모를 갖고 있으며, 지구표면의 70%를 해양이 차지하고 있음을 생각할 때, 해양의 역할은 이루 말할 수 없이 중요하다. 해양은 막대한 수용능력을 갖추고 있는 반응조로서, 외부에서 어느정도 오염물질이 유입되더라도 여러가지 물리 화학적 과정으로 이를 정화시킬 수 있는 자정능력을 갖고 있으나, 근래에 연근해로 유입되는 이들 오염물질의 양은 해양의 자정능력을 훨씬 넘어선고 있다. 오염으로 몸살을 앓고 있는 것은 연근해 뿐 만 아니다. 예를 들면, 해수중의 중금속 이온들은 해수중에 떠 있는 아주 고운 퇴적물입자에 흡착되어, 멀리 이동함으로써, 심해저 퇴적물에서 중금속 농도가 높게 나타나기도 한다. 또한, 대륙으로 수천 km 떨어진 무인도 해변에 떠 밀려 올라오거나, 망망대해를 표류하는 플라스틱 더미들은 지구상 어느

한 곳도 환경오염 안전지대가 있을 수 없음을 시사한다고하겠다. 이와 같이 인간활동으로 인한 해양생태계의 변화는 지구환경변화로 이어지며, 오히려 인간에게 파국적인 결과를 안겨다 줄 것이다.

2 해양오염문제에 대한 연구 방안

연안오염의 심화에 따른 해양생태계 파괴, 수자원 고갈등은 우리가 당면한 심각한 환경문제이다. 오염을 완화시켜 생태계를 보전하는 일이 무엇보다 시급하다. 한편, 연근해 지역은 경제적 가치가 높은 지역으로서, 지속적 개발을 병행해 나가야하는데 정책적인 어려움이 있다. 따라서, 오염방지와 아울러 생물자원의 효율적 관리를 통해 생태계 균형을 유지하는 일이 매우 중요하다. 즉, 해양생태계 오염연구는 오염도를 측정하고 오염원을 파악하는 것 뿐만 아니라, 생태계와 인간의 경제생활에 파급되는 영향을 설명하고 미래에 일어날 수 있는 사건을 예측함으로써 생태계 균형을 유지하는데 기여할 수 있어야한다. 방법론적으로는 독성물질에 대한 생체내 생화학적인 반응을 이해하기 위한 순수생물학적인 연구를 포함하여, 개체중이나 군집을 대상





으로한 생태학적 연구, 오염물질에 대한 화학적 분석, 그리고 해양의 특수성이해를 위한 제반 해양학적인 연구에 이르는 총체적인 접근이 필요하다. 따라서, 해양오염연구는 어느 특정 분야의 한 두명의 전문가가 전담할 문제가 아니며, 다양한 분야의 전문가가 참여해야만 바람직한 결과를 얻어낼 수 있다. 우리나라의 해양오염연구는 수질오염의 차원에서 주로 수질이나 몇몇 상업적으로 유용한 어종의 오염도를 측정하는 것으로 해양오염연구를 대변해 왔다. 그러나 이와같은 연구로는 앞서 설명한 해양오염연구의 궁극적인 목표를 달성하기가 어려우며, 오염에 의한 생태계내의 변화조차 설명하기가 어렵다. 왜냐하면, 오염에 의한 생태계의 변화는 적조현상에 따른 어패류의 대량패사와도 같이 급격하게 진행하기도 하지만, 오염물질의 종류에 따라 오랜시간이 흐른후에야 그 변화를 감지할 수 있는 경우도 많다.

오염으로 인한 생태계내의 변화를 효율적으로 진단, 예측할 수 있는 방법으로 생태계 감시(Ecosystem

monitoring)가 있다. 생태계 감시라는 것은 장기간에 걸쳐, 수질의 오염도와 함께 서식환경과 생물군집의 특성을 지속적으로 관측하여, 오염물질에 의한 생태계내에 변화를 신속하게 감지하기 위한 프로그램이다. 더 나아가서는 감지한 수질 또는 생물종의 오염이 생태계에 어떠한 파급효과를 주며 인간의 경제생활에 어떠한 영향을 줄 수 있는지를 예측하여, 심각한 피해를 미리 방지할 수 있는 대책 마련에 필요한 과학적 자료를 얻고자하는데 궁극적인 목적을 두고 있다. 이런점에서 올바른 지표종 (Indicator species)의 선정은 생태계 감시연구에 있어서 매우 중요하다. 우선 이 종의 오염이 이 종이 속해있는 생태계오염을 어느정도 대표할 수 있는 생태학적으로 중요한 위치에 있는 종이라야 한다. 또한 지리적으로 널리 분포하고, 數的으로 우점하고, 다루기 쉬운 크기에 수명이 길고 오염물질에 대해 어느정도 耐性을 갖고 있는 생물이라야 한다. 또한 어느 특정지역의 오염상황을 좀 더 정확히 감시하기 위해서는 이동성이 큰

물고기보다는 서식지가 제한되어 있어 한 장소에서 거의 이동하지 않는 조개류, 갯지렁이류등과 같은 海底에 살고 있는 底棲동물이 지표종으로 적합하다. 생태계 감시로 수질의 오염도 측정, 그리고 지표종에 대한 생태학적 연구로 생태계내 변화를 감지한 후 다음 단계로 그 원인물질이 무엇이며, 생체내에서 어떠한 분자생물학적인 또는 생화학적인 반응을 일으켜 성장, 생식 등에 영향을 주는가를 분석하는 일 등이 포함되어야 한다. 한편, 우리가 자연 상태에서 육안적으로 관측한 생태계내 변화는 오염물질에 대한 생체내 반응뿐만 아니라 자연환경속에서의 타종간의 상호관계에 의해서도 영향을 받기 때문에 이에 관한 연구도 병행에 나가야 한다. 위와 같은 모든 연구가 단계적으로 종합적으로 이루어져야만 오염연구의 궁극적인 목표인 예측과 파괴적인 결과의 방지 더 나아가 자원의 효율적 개발과 환경보전의 차원으로 올라설 수 있을 것이다. 최근 정부간 회의인 북서태평양 해양환경보전계획 (NOWPAP)에서는 전세계 환경보전을 위한 해양오염 방지 및 해양생태계 보전을 위해 국가간 협력 체제를 구성, 추진 중에 있으며 우리나라도 이 계획에 적극 참여하고 있다. 또한 국가주도로 현재 황해의 환경보전에 관한 연구가 기획되고 있으며, 특히 황해-LME (Large Marine Ecosystem)는 '95년부터 3년간 중국과의 공동으로 수행될 연구로 황해 생태계 보전과 개발을 위한 목적에 초점을 두고 있다. 이와같은 대규모 국가주도의 연구계획은 우리가 당면하고 있는 문제의 시급성을 반증한다고 하겠다.